

# 基于 PROTEL 移相控制高频环节逆变器仿真研究

王诗颂

(江苏职业技术学院 苏州机电分院, 江苏 苏州 215031)

**摘 要:** 用 Protel 99SE 软件建立了高频脉冲交流环节 DC/AC 逆变器的模型并进行仿真研究, 采用单极性移相 SPWM 控制策略, 给出了主要的仿真波形。仿真结果表明, 采用单极性移相 SPWM 控制策略的高频脉冲交流环节 DC/AC 逆变器是可行的。

**关键词:** 高频脉冲交流环节; 逆变器; 仿真模型; 单极性移相控制策略; 周波变换器

**中图分类号:** TP21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6673 (2007) 01-179-03

## 0 引言

高效逆变器具有体积小, 效率高的特点, 能应用于各类军事或民用方面。近年来, 有利于电力电子设备小型化轻量化的高频环节逆变技术取得了较大进展, 高频脉冲直流环节逆变技术已经用于部分小功率 UPS 中。

高频脉冲交流环节 DC/AC 逆变器因其逆变器输出的是高频交流脉冲, 可用高频变压器替代个大体重的工频变压器来实现电压匹配及直流与交流侧的电气隔离, 因此具有较好的应用前景。

高频脉冲交流环节 DC/AC 逆变器控制方案设计非常关键, 若不妥当则有可能导致周波变换器导通元件的强迫关断, 因高频变压器上存在漏感, 这样将会在变压器次级开关器件上形成巨大的电压尖峰, 不利于安全运行, 目前大都采用移相技术来解决该问题。本文采用 Protel 99SE 软件对单极性移相 SPWM 控制高频脉冲交流环节逆变器进行了仿真研究, 从理论上验证了该控制策略的可行性, 仿真模型采取全桥桥式结构, 并由 PI 调节器进行闭环控制。

## 1 建立高频脉冲交流环节逆变器仿真模型

### 1.1 高频脉冲交流环节逆变器电路构成

全桥桥式高频环节逆变器电路结构是由高频逆变器、高频变压器、周波变换器及滤波环节, 采样环节, PI 调节器, SPWM 控制信号发生器等几部分组成。高频逆变器由四个功率开关 S1~S4 组成, 按 SPWM 移相控制规律控制其开合, 可得到高频的交流电压脉冲。周波变换器也由四个功率开关 S5~S8 组成, 负责将高频逆变器

输出的高频交流电压脉冲低频解调成单极性的 SPWM 波, 经输出滤波器滤波后供给负载。高频逆变器和周波变换器之间的高频变压器, 起电源侧与负载侧电压匹配及两侧电气隔离的作用。

### 1.2 电源、高频逆变器及变压器部分仿真电路

为使仿真电路清楚易懂, 本文将高频脉冲交流环节逆变器仿真模型分解成四部分画出。图 1 所示仿真电路由电源、高频逆变器及高频变压器三部分组成。高频逆变器功率开关由 SWP10 仿真开关元件模拟, 高频变压器由一对耦合线圈模拟。功率开关设置了缓冲电容, 以避免开关过程中的较大电压过冲。P1 到 P4 表示输入输出端口, 将 SPWM 发生器产生的控制信号引入开关控制端。模型是在 Protel 99SE 环境下建立的。

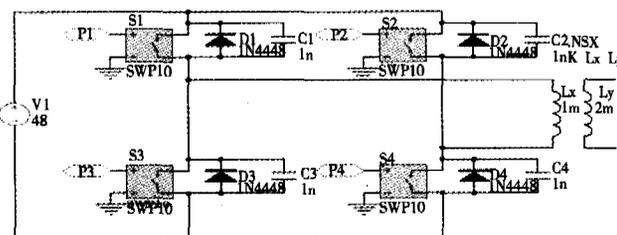


图 1 电源、高频逆变器及高频变压器部分仿真电路

Fig.1 The simulation mode of Power Supply, Inverter and Transformer

### 1.3 周波变换器及负载部分仿真电路

周波变换器及负载部分仿真电路见图 2 所示, 周波变换器的作用是将此前面产生的高频交流电压脉冲低频解调成单极性的 SPWM 波, 经输出滤波器滤波后供给负载, 周波变换器的功率开关及其缓冲电路设计同高频逆变器部分。滤波电路采用了带阻尼可控环节的滤波器, 滤波电感为 1mH, 滤波电容为 Cf150μF, Cf1100μF, 阻尼电阻 3Ω, 目的是保证在滤波器作轻载或空载运行时, 变换器的稳定性。负载后所限为采样电路, 采样电路由

收稿日期: 2006-11-13

作者简介: 王诗颂 (1970-), 机械电子专业工学硕士, 在职研究生。研究方向: 机电一体化。

·测试与控制·

两个较大的电阻组成,PI调节器由运放组成的比例积分电路来完成。运放选用高速运放仿真元件 MAX4228。该模块将逆变器输出与基准电压进行差分计算,结果送 SWPM 发生器。

1.4 逆变器及周波变换器驱动信号仿真电路

控制信号的产生是单极性移相 SPWM 控制策略成功

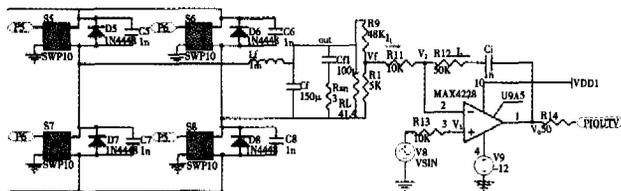


图2 周波变换器及负载部分仿真电路

Fig.2 The simulation mode of Cycloconverter and Load

实现的保证,通过对单极性移相 SPWM 控制原理的深入分析和对全桥软开关电源移相谐振控制器 UC3879 的认真研究,精心设计了图3所示的高频逆变器 (SPWM 控制策略)、周波变换器驱动信号仿真电路。其中, P5、P6 为送给周波变换器的控制信号,直接对电压脉冲信号源模块进行参数设置即可。高频逆变器功率开关控制信号形成原理如下:采样及 PI 调节器仿真电路部分产生的电压误差放大信号  $U_{e1}$  与载波  $U_c$  比较后得到的信号再下降沿二分频,即可得到高频脉冲交流环节逆变器功率开关 S1 的控制信号,尔后反相互补得到功率开关 S3 的控制信号 (分别从 P1、P3 端口送出);  $U_{e1}$  的反值信号  $U_{e2}$  与载波  $U_c$  比较后得到的信号再下降沿二分频,可得高频脉冲交流环节逆变器功率开关 S2 的控制信号,尔后反相互补得到功率开关 S4 的控制信号 (分别从 P2、P4 端口送出)。

2 仿真分析

所有仿真分析方法共有的一个难题就是收敛性的问题,在进行瞬态分析遇到不收敛且进行一般检查仍解决不了问题时,可尝试通过将高级设置对话框下的四个仿真参数增大以达到仿真收敛的目的。这四个参数为“RELTOL”、“ITL4”、“ABSTOL”和“VNTOL”,通过选择菜单命令【Simulate】/【Setup...】,并切换到高级仿真 (Advanced) 参数设置对话框即可找到。其中“RELTOL”表示计算收敛的相对误差,“ITL4”表示迭代计算的次数,“ABSTOL”表示电流计算时的最佳绝对精确度,而“VNTOL”表示电压计算时的最佳绝对精确度。

利用上述在 Protel 99SE 中建立的带 PI 调节器的全桥桥式单极性移相控制高频环节逆变器仿真模型,对静止逆变器进行了计算机仿真,仿真算法选用 Trapezoidal 算法,功率开关为理想开关,开关频率  $F_s=10\text{KHz}$ ,基波

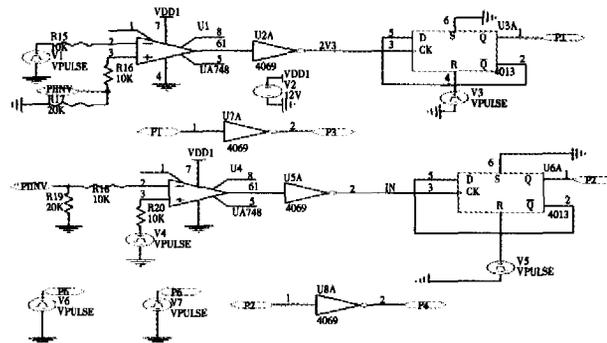


图3 高频逆变器、周波变换器驱动信号仿真电路

Fig.3 The simulation mode of drive signals of Inverter and

Cycloconverter

频率 50Hz。滤波电感为 2mH,滤波电容为 250 $\mu\text{F}$ ,负载为阻性负载  $R=41.4\Omega$  (负载可根据仿真需要设置成阻性的,感性的或容性的)。在进行动态仿真时,可通过在仿真模型中设置控制开关来达到模拟负载突变,电源电压突变时的情况。

2.1 稳态仿真

由仿真模型可对空载、阻性满载、感性负载及容性负载等各种负载情况作稳态仿真分析,图4为阻性满载情况下稳态运行时的仿真结果。图的下半部分为单极性移相控制逆变器稳态仿真波形展开图,可清楚看出高频

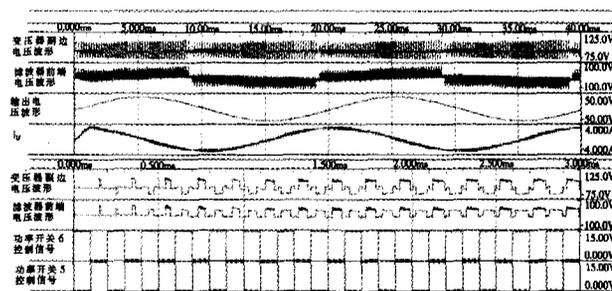


图4 阻性满载仿真波形

Fig.4 The waveforms of steady-state operation of a simulation mode with resistance load

逆变器输出的高频交流脉冲及周波变换器解调后的单极性的 SPWM 波。

2.2 动态仿真

由仿真模型可作负载突变或电源电压突变等情况下

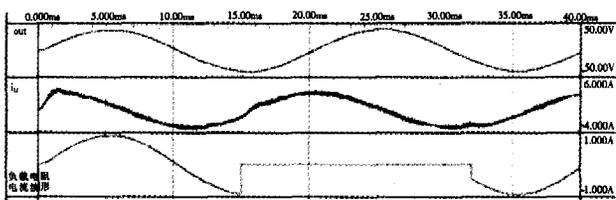


图5 单极性移相控制逆变器负载突变时瞬态仿真波形

Fig.5 The transient waveforms of a inverter when the load been changed suddenly

的动态仿真分析。从图 5 可见,在 15ms 时刻,由满载到空载;在 32ms 时刻,由空载到满载。从动态仿真波形可看出,逆变器输出电压波动很小,在负载改变时,由瞬态进入稳态的时间很快。

### 3 结束语

电力电子器件一般比较昂贵,实验调试相比弱电电路要困难复杂得多。所以在研制电力电子装置时,需要建立仿真模型并进行稳态和动态的仿真分析,通过设计方案的修改和器件选择及其参数的调整来达到设计要求。这样可以达到缩短电力电子装置研制周期、降低成本、提高可靠性等目的。

PROTEL99SE 的仿真模块 PROTEL 99SE Advanced SIM99 是一个功能强大的混合信号仿真器,可提供连续的模拟信号和离散的数字信号仿真,适用于电力电子装置工程上的仿真。它的仿真引擎采用 MicroCode Engineering 公司的微码仿真技术,与 SPICE3F5 完全兼容。

### Simulation study on a Inverter with High Frequency Link Based on Protel 99SE

WANG Shi-Song

(Suzhou Higher Vocational School of Mechatronic Technology, Suzhou Jiangsu 215031, China)

**Abstract:** By means of software Protel 99SE, a simulation mode for DC/AC Inverter with high frequency pulse AC link is set up, the Monopolar phase shifting control algorithm is adopted, the main waveforms are given. The simulation results verify the practicability of the high frequency pulse AC link DC/AC inverter with such control strategy.

**Key words:** High frequency pulse AC link; Inverter; Simulation Mode; Monopolar phase shifting control algorithm; Cycloconverter

(上接第 178 页) (4) 平方曲线型负载的频率控制曲线。系统的总转动惯量为  $3 \times 10^{-3} \text{Kg} \cdot \text{m}^2$ , 常数取值  $8 \times 10^{-8}$ , 取连续运行频率为 3500Hz。频率控制曲线如图 2 所示, 升速过程中脉冲频率由 500Hz 加速到 3500Hz 的响应时间为 0.17s, 起动时加速度很大, 随着频率的升高, 加速度迅速减小; 降速过程中的曲线亦为升速时的反控制曲线。

### 5 结论

步进电动机运行在过渡过程中, 由于矩频特性和负载机械特性的变化, 需要对其输入的脉冲频率进行控制, 以防止失步和过冲, 同时还要满足系统的快速响应性。文中得出的控制方程给出了一个合理的控制规律, 使步

与 MATLAB 仿真模块相比, PROTEL 99SE Advanced SIM99 所提供的 D 触发器在存在反馈环时无代数环问题的困扰。

本文基于 PROTEL 仿真模块对单极性移相控制高频脉冲交流环节逆变器进行了仿真研究, 建立了高频逆变器闭环比例积分 (PI) 控制的仿真模型并进行了稳态和动态 (电源电压突变或负载突变) 下的仿真。通过该模型还可进一步对该逆变器的输入电流、输出电压输出电流等进行分析, 这为高频环节逆变器的实际设计提供了重要依据。

#### 参考文献:

- [1] 王云亮. 电力电子技术[M]. 电子工业出版社, 2004.
- [2] 李东生. Protel 99SE 电路设计技术入门与应用[M]. 电子工业出版社, 2002.
- [3] 张友军. 全桥桥式高频逆变器研究[J]. 电气开关, 2001.
- [4] 王诗颂. 高频环节 DC/50HZ AC 静止变频器研究[D]. 江苏大学在职硕士学位论文, 2006.

进电动机在过渡过程中能快速定位、运行步骤准确。对于不同机械特性的负载, 控制方程的表达形式和控制曲线变化趋势有所不同。实际生产中, 需要对控制方程进行离散处理, 实现对步进电动机的合理有效控制。

#### 参考文献:

- [1] 李晓菲, 胡泓, 王炜, 等. 步进电机加减速控制规律[J]. 机电产品开发与创新, 2006, 1.
- [2] 王小洪. 步进电机最佳升降速控制及仿真[J]. 浙江工业大学学报, 2000, 1.
- [3] 陈爱国, 黄文玲, 杨红红. 步进电机升降速曲线的研究[J]. 机电产品开发与创新, 2003, 2.
- [4] 邓星钟, 周祖德, 邓坚. 机电传动控制[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 2003.

### Frequency Optimal Control in Stepper Motor Transient Process

FANG Shi-Yin

(Department of Electronic Engineering, Wuyi University, Wuyishan Fujian 354300, China)

**Abstract:** For avoiding out-of-step and overshoot, it is necessary to control the pulse frequency inputted to stepper motor in transient process. Frequency control equation is established based on the analysis of load mechanical characteristic, stepper motor torque-frequency characteristic, systemic motion equation. Frequency control curve is drawn by MATLAB software.

**Key words:** stepper motor; transient process; pulse frequency